心理学报 2020, Vol. 52, No. 5, 562−571
Acta Psychologica Sinica DOI: 10.3724/SP.J.1041.2020.00562

长时联结表征对工作记忆的抑制效应*

张 引[1,2] 梁腾飞[1,2] 叶超雄[1,3] 刘 强[1,2]

([1] 四川师范大学脑与心理科学研究院, 成都 610000)
([2] 辽宁师范大学脑与认知神经科学研究中心, 大连 116029)
([3] 于韦斯屈莱大学心理学系, 于韦斯屈莱, 40014 芬兰)

摘 要 本研究通过两个实验探讨了长时记忆联结表征如何影响当下工作记忆任务的加工。长时记忆联结表征采用无语义联系、无视觉相似性的 Emoji 图片对, 提前一天让被试完成联结表征的建立, 正式工作记忆任务采用独立探测的变化觉察范式。实验 1 控制呈现时间(500 ms / 1000 ms)与呈现方式(联结/独立), 发现两种呈现时间均显示出联结条件的正确率与记忆容量显著低于独立条件, 说明长时记忆联结表征抑制了当前工作记忆的加工。实验 2 设置了记忆项目数(2/4/6 项)与呈现方式(联结/独立), 采用 alpha 震荡作为脑电指标, 考察长时联结表征在工作记忆维持阶段的作用。结果发现在维持阶段, 独立条件的 alpha 震荡随着记忆项目数量的增加而增大(2 项 < 4 项 < 6 项), 而联结条件在 4 项已经到达顶点(2 项 < 4 项 = 6 项)。实验 2 进一步说明长时联结表征在维持阶段降低了当前工作记忆容量。本研究的两个实验结果表明, 长时记忆联结表征对当前的工作记忆任务有一定的抑制作用, 这种抑制作用产生的机制可能来自于联结表征干扰了维持阶段的注意分配。

关键词 长时记忆; 工作记忆; 联结记忆; alpha 震荡
分类号 B842

1 引言

长时记忆(Long-term memory)的显著特点是没有容量限制, 个体能够记住从幼儿时期形成的无数场景与客体形象, 长时记忆表征是依据结构存储, 并由单个项目的表征到高层次的概念表征等多层次的表征结构构成(Brady, Konkle, & Alvarez, 2011)。与长时记忆存储容量没有上限不同, 工作记忆(working memory, 工作记忆)具有明显的容量限制, 并且平均存储容量只有 3~4 个单位(Cowan & Nelson, 2001; Luck & Vogel, 1997)。但工作记忆作为一个容量有限的缓存平台可以衔接感觉记忆与长时记忆, 并对这两个阶段的信息进行加工再处理, 以便完成各种认知活动(Hasson, Chen, & Honey, 2015)。已有大量研究针对二者的关系进行探讨(Brady, Konkle, Gill, Oliva & Alvarez, 2013; Schurgin & Flombaum, 2015; Thavabalasingam, O'Neil, Tay, Nestor, & Lee, 2019), 但关于长时记忆表征是否影响当前工作记忆的研究却相对较少。

目前, 一些研究认为, 长时记忆对工作记忆无影响(Olson & Jiang, 2004; Fukuda & Woodman, 2017)。例如, 在工作记忆任务中, 设置重复出现的图形, 这些图形在任务结束后形成长时记忆(被试能够准确再认), 但重复图形与不重复图形在工作记忆任务中的表现并没有差异(Olson & Jiang, 2004)。另一些研究认为, 长时记忆会促进当下工作记忆的完成(Liu, Grady, & Moscovitch, 2016; Oberauer, Awh, & Sutterer, 2016)。例如: 鲍旭辉、姬鸣、黄杰、何立国和游旭群(2014)采用变化觉察范式, 要求被试完成记忆 6 个项目(随机选取自 8 个固定形状和颜色搭配的图形)的工作记忆任务。结果发现, 如果被试提前对这些项目进行充分的长时记忆, 则可以显著提升当下工作记忆的容量, 但如果被试仅在工作记忆任务中对这些项目形成了内

收稿日期: 2019-07-09
* 国家自然科学基金项目(31970989)资助。
通信作者: 刘强, E-mail: lq780614@163.com

隐长时记忆，则不会提升工作记忆容量。作者认为来自长时记忆的促进作用可能与其表征的激活程度相关。只要给予被试充分长时记忆的学习，那么长时记忆表征会在工作记忆阶段诱发较高的激活水平，就可以促进当下工作记忆的加工过程。之后，Oberauer 等人(2016)利用回忆报告范式，具体探讨了长时记忆对工作记忆容量与精度的促进作用。他们提前让被试记忆 120 个带颜色的物体，反复记忆确保进入长时记忆。接下来被试完成工作记忆的回忆报告任务(记忆 3 项), 3 个项目当中, 1 项是长时记忆过的物体(old match), 1 项是从未出现过的全新的物体(new)，一项是长时记忆过但被赋予一个新颜色的物体(mismatch)。记忆阵列消失后，随机探测任意一个项目的颜色。结果发现, old match 记住的概率最高，mismatch 和 new 的记住概率没有差异，三种条件精度没有差异。这表明，长时记忆表征具体提高了被试能够在工作记忆中存储项目的概率，但不会提高记忆精度，而无关的长时记忆对工作记忆表征的提取加工也未能产生干扰。Oberauer 等人(2016)认为在长时记忆和工作记忆间存在一个信息流的关卡。如果长时记忆和工作记忆里的信息出现错误匹配，记忆系统会有一个特殊的关卡避免长时记忆对工作记忆产生干扰，然而一旦长时记忆表征对当下工作记忆任务有利，关卡便会开启，帮助促进工作记忆任务的完成。

以上考察长时记忆影响工作记忆任务的研究均采用单一项目表征。但长时记忆系统是一个庞大的表征网络，存在着各种组织关系(Eichenbaum, 2016)。其中涉及到表征−表征间的关系(Wang et al., 2014; Zeithamova, Dominick, & Preston, 2012)、表征顺序关系(Ezzyat & Davachi, 2014)、表征层级关系(Zalesak & Heckers, 2009)等。记忆联结关系不同于记忆单个项目，例如，研究发现，海马受损大鼠仍然可以完成项目记忆，但却无法完成联结关系的记忆(Eichenbaum, 2016)。对人类被试的研究同样发现，项目记忆与联结记忆具有不同的认知机制。单个项目记忆的再认过程仅依靠熟悉性(指个体依靠较少认知资源即可较快再认的过程)即可完成，而联结记忆的再认过程更多的依赖于回想(指个体依靠更多认知资源，较慢的提取细节过程) (Sauvage, Beer, & Eichenbaum, 2010; Yonelinas, Aly, Wang, & Koen, 2010)。这说明，联结记忆的再认过程比项目记忆更复杂。

研究者们考察了联结记忆在长时记忆编码和再认过程中的作用。如果多个表征在编码阶段可以进行“整合”，那么会形成整体表征，仅依靠熟悉度同样可以完成联结再认(Guillaume & Etienne, 2015)。整合编码能够促进联结记忆的再认过程。整合的方式有两种可能性：一种是整合的发生以损害单个项目表征的质量为代价，因为被试将更多的资源投放到联结编码中，从而减少了对单个项目编码的资源，导致单个项目记忆质量下降(Ahmad & Hockley, 2014); 另一种是整合在促进联结再认时不影响项目再认，因为联结编码是在项目编码的基础上完成，只有在完成项目编码之后，整合才可能发生(Parks & Yonelinas, 2015)。

联结表征对长时记忆的影响无法推论到工作记忆中。在工作记忆的研究中，一个常见的现象是，研究者们希望项目之间具有彼此独立的关系，并在实验设计时尽量保证这一点。然而在现实的场景中，更多的情况是，个体短时维持的多个信息之间往往具有某种已经存在的联结，这使得多个记忆项目很难被独立的存储在工作记忆中。遗憾的是，并未有具体的研究直接探讨长时联结表征对工作记忆的影响。在当前的研究中，我们尝试性的探讨长时记忆中存储的联结表征对工作记忆的加工是否具有影响，如果有，这种影响是何性质。考虑到在大部分研究中，联结记忆被分为来源记忆与项目对记忆(Bastin et al., 2013)，本研究为与项目记忆的研究保持一致，采用项目对记忆的方式，即，将无语义联系、视觉不相似的 2 个项目提前建立联结关系。为了方便叙述，本文将 2 个项目组成的联结关系称为联结表征。在工作记忆任务中设置联结(有联结表征)与独立(没有联结表征)两个条件。探讨长时记忆联结表征是否会对工作记忆产生影响。联结条件下的项目两两配对，独立条件下任意两个项目均没有配对关系。逻辑是，如果联结记忆会对工作记忆加工存在影响，那么联结条件的记忆成绩应该与独立条件产生显著差异；如果联结记忆对工作记忆无影响，那么联结条件的记忆成绩应与独立条件无差异。

2　实验 1：长时联结表征对工作记忆的影响

2.1　方法

2.1.1　被试

一方面，基于以往关于长时记忆对工作记忆影响研究的样本量(Oberauer et al., 2016); 另一方面，基于相关研究中报告的效果量以及期望的功效值

(0.8)所计算的样本量(计算软件采用 GPower_3.1)，实验 1 计划样本量 15 人以上。最终实验随机选取 19 名辽宁师范大学在校本科生或研究生，平均年龄 21.1 ± 2.5 岁，年龄范围在 20 至 25 之间(男 8 人，女 11 人)。被试均为右利手，视力或矫正正常，无精神类疾病史。实验后给予被试 20 元现金报酬。被试在实验前阅读和签署知情同意书，并获得辽宁师范大学伦理委员会批准。

2.1.2 实验材料

实验在一个昏暗无噪音的小房间内进行。整个实验过程中光源全部关闭，只有实验视觉刺激可以被察觉。视觉刺激呈现在 19 英寸刷新率为 60 Hz 的 LCD 台式机显示器上，刺激材料分辨率为 1024×768。整个实验过程中，背景颜色为灰色(195, 195, 195)。实验程序的呈现与数据收集使用 E-prime 2.0 实现。实验刺激共有 32 个(16 对)不相似的 Emojis 图片(www.emojipedia.org)。每个图片大小为 2° × 2°，在每个试次中，记忆刺激的 6 张不同的图片等距离分布在一个半径为 4°的虚拟圆上，左右视野各三个图片。被试双眼与显示器的距离大约为 60 cm，被试单独完成实验。

2.1.3 实验程序

由于本研究考察的是个体长时记忆联结表征对工作记忆的影响，因此，被试需完成建立长时记忆联结表征与工作记忆测试两个任务。长时记忆联结表征的建立需提前一天记忆 32 个(16 对)图片的两两配对，给予被试充分时间记忆，测试规则为随机出现一个项目，被试需在 3 秒内回忆并口头报告出与之配对的项目，所有联结全部回答正确才算通过测试。待工作记忆实验结束后再次测试，测试结果显示，所有被试在工作记忆实验结束后，均能正确回忆项目配对，回忆正确率达到 99%以上。说明被试在工作记忆实验过程中对前一天长时记忆建立的表征并未遗忘。

实验 1 是 2 呈现方式(联结 vs 独立) × 2 呈现时间(500 ms vs 1000 ms)设计。工作记忆任务中，联结条件下记忆项目的位置全部打乱。即，联结条件下记忆阵列的 6 个项目虽然是 3 对，但项目可以在 6 个位置上随意分布。独立条件的 6 个项目全部独立，任何 2 个项目均没有联结关系。另外，参考 Xie 和 Zhang (2017)的研究，同时为了增加实验的可靠性，将记忆阵列的呈现时间设置为 500 ms (编码时间不足)与 1000 ms (编码时间充足)两个水平。

工作记忆的实验流程为独立探测的变化觉察范式，具体如图 1。屏幕中央呈现 200 ms 的十字注视点，提示被试记忆阵列即将出现，随后呈现 500 ms 或者 1000 ms 的记忆阵列，记忆项目始终为等距离圆周分布的 6 个项目，随后呈现 1000 ms 空屏用以记忆维持，随后呈现探测界面，随机探测记忆阵列中的 1 个项目，被试判断探测项目与记忆阵列中的项目是否发生变化，如果发生变化按 j 键，没有发生变化按 f 键，要求被试忽略反应时，尽量正确按键。探测界面按键消失，trial 与 trial 之间间隔 1000 ms。整个实验共有 4 个 blocks，每个 block 中包含 80 个 trials，共 320 个 trials。每做完一个 block 被试休息 2 分钟。

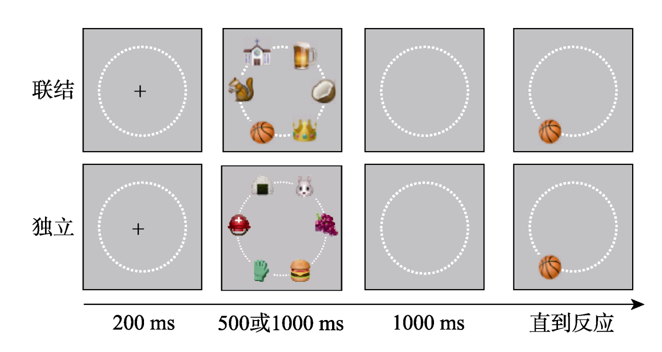


图 1 实验 1 中联结、独立两种条件流程图。记忆阵列可能呈现 500 ms 或 1000 ms。

2.1.4 数据分析

分析软件采用 SPSS 19.0，不符合球形假设的 p 值采用 Greenhouse-Geisser 法校正，计算偏 Eta 方(eta-squared, η_p^2)作为效果量的量度。实验分析正确率与记忆容量 K 值两个因变量指标。K 值的计算方式采用 Cowan (2001)的计算公式：$K = N \times (H - F)$，K 表示记忆容量，N 表示呈现项目数目，H 表示击中率(正确反应变化试次的比例)，F 表示虚报率(错误回答不变试次的比例)。采用两因素重复测量方差分析(analysis of variance, ANOVA)分别对被试正确率与 K 值进行分析，分析因素包括呈现方式(联结条件、独立条件)，呈现时间(500 ms、1000 ms)。

2.2 实验结果

结果如图 2 所示，正确率指标上，呈现方式主效应显著，F (1, 18) = 14.640, p < 0.01, η_p^2 = 0.423；呈现时间主效应显著，F (1, 18) = 31.972, p < 0.01, η_p^2 = 0.615；交互作用不显著，F (1, 18) = 1.395, p = 0.251；事后配对检验结果显示 1000 ms 的正确率显著高于 500 ms (p < 0.01)；独立条件正确率显著高于联结条件(p < 0.01)。

K 值与正确率一致，呈现方式主效应显著，

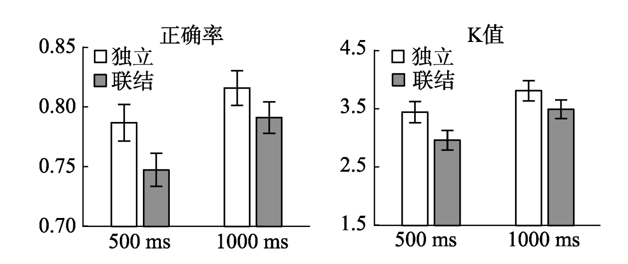


图 2　实验 1 结果。记忆阵列呈现时间为 500 ms 与 1000 ms 时, 联结、独立两种条件下的正确率(左)与 K 值(右)。

F (1, 18) = 11.027, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.380$; 呈现时间主效应显著, F (1, 18) = 30.421, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.628$; 交互作用不显著, F (1, 18) = 0.599, $p = 0.449$; 事后配对检验结果显示 1000 ms 的 K 值显著高于 500 ms ($p < 0.01$); 独立条件的 K 值显著高于联结条件($p < 0.01$)。

2.3　讨论

实验 1 旨在探讨长时记忆表征之间的联结关系对工作记忆产生的影响。分别在 2 种呈现时间下, 对比了联结表征与独立表征在工作记忆任务中的表现。结果发现, 无论是 1000 ms 还是 500 ms, 联结条件的记忆正确率与 K 值均显著低于独立条件, 说明长时记忆联结表征可能对工作记忆任务产生了抑制作用。

前人研究中对长时记忆的建立采用记忆单个项目(Brady et al., 2013; Oberauer et al, 2016)的结果发现, 长时记忆表征对工作记忆具有促进作用。而联结表征不同于单个项目表征, 项目记忆的提取更多依靠熟悉度完成, 而联结记忆更多依靠回想, 其在长时记忆系统中占有重要作用。因此, 考察联结记忆如何影响当下工作记忆任务十分重要。本研究不考虑位置信息以及多个表征之间的关系, 仅建立具有联结关系的 2 个项目为长时记忆联结表征, 这样可以比较长时记忆独立表征(无联结)与联结表征对工作记忆的影响有何差异, 二者的差异就是联结本身对工作记忆产生的影响。

实验 1 结果中联结条件的记忆正确率与 K 值均显著低于独立条件, 但似乎还不能推测长时记忆联结表征对工作记忆任务产生了抑制作用。由于实验 1 是行为实验, 在记忆的编码、存储、提取阶段均有可能造成正确率的差异, 而工作记忆最重要的是维持阶段, 那么联结表征的抑制作用是否发生在工作记忆的维持阶段? 因此, 实验 2 采用高时间分辨率的脑电技术考察长时记忆联结表征对工作记忆实时维持阶段的影响。

3　实验 2: 长时联结表征对工作记忆维持阶段的影响

实验 2 考察长时记忆联结表征对工作记忆实时维持的影响。前人研究大多采用对侧视野诱发的 CDA 作为工作记忆容量指标(Feldmann-Wüstefeld Vogel, & Awh, 2018)。由于本研究任务需左右视野同时记忆, 因此在脑电指标的选择上, 采用 alpha 频带震荡(alpha power, 8~13 Hz)。Alpha 震荡在工作记忆维持阶段, 随着记忆项目数的增多而增大, 当记忆项目数达到个体记忆容量时, alpha 震荡到达顶点, 因此 alpha 震荡的渐近线反映个体工作记忆容量 (Fukuda & Woodman, 2017; Kcs, Robison, & Vogel, 2018)。另外, alpha 震荡也被认为是注意实时维持的记忆表征负荷量, alpha 震荡越大(这里说的是绝对值, 其实是越负)表示需要注意实时维持的表征负荷越高(Fukuda & Woodman, 2017)。整体实验设计与实验 1 大致相同。不同处是: 除联结与独立两种条件的设置外, 实验 2 加入了呈现数目(2 项、4 项、6 项)作为另外一个自变量。

实验 2 预测, 独立/联结条件下, 记忆维持阶段的 alpha 震荡均随着记忆项目数的增加而增大。在此结果成立的前提下, 如果长时记忆联结表征对工作记忆的抑制作用发生在维持阶段, 那么联结条件下 alpha 震荡的渐近线应该比独立更早到达顶点; 如果长时记忆联结表征对工作记忆的抑制作用不在维持阶段发生, 那么联结条件下 alpha 震荡的渐近线应该与独立条件无差异。

3.1　方法

3.1.1　被试

一方面, 基于以往关于长时记忆对工作记忆影响研究的样本量(Oberauer et al., 2016; Fukuda & Woodman, 2017); 另一方面, 基于相关研究中报告的效果量以及期望的功效值(0.8)所计算的样本量(计算软件采用 GPower_3.1), 实验 2 计划样本量 15~30 人。最终实验 2 随机选取 27 名辽宁师范大学在校本科生或研究生, 平均年龄 21.7 ± 2.3 岁, 年龄范围在 20 至 25 之间(男 11 人, 女 16 人)。被试均为右利手, 视力或矫正正常, 无精神类疾病史。实验后给予被试适当现金报酬。被试在实验前需阅读和签署知情同意书, 并获得辽宁师范大学伦理委员会批准。其中有 2 名被试的数据由于在去除伪迹时的无效 trials 过多(在任意条件超过 30%)被剔除。

3.1.2 实验材料

同实验 1。

3.1.3 实验程序

建立长时记忆联结表征的过程与实验 1 相同。实验 2 是 2 呈现方式(联结 vs 独立) × 3 呈现数目(2 项 vs 4 项 vs 6 项)设计。工作记忆任务大致与实验 1 相同，不同之处在于去掉了呈现时间为 1000 ms 的条件，原因是呈现时间过长会引起被试眼动，而脑电实验中眼动会造成较大伪迹。增加记忆项目数量作为自变量，具体流程如图 3。屏幕中央呈现 500~800 ms 随机十字注视点(防止注视点成为事件相关)，提示被试记忆阵列即将出现，随后呈现 500 ms 记忆阵列，记忆项目始终为等距离圆周分布的 6 个项目，随后呈现 1000 ms 空屏用以记忆维持，随后呈现探测界面，随机探测记忆阵列中的 1 个项目，被试判断探测项目与记忆阵列中的项目是否发生变化，如果发生变化按 j 键，没有发生变化按 f 键，要求被试忽略反应时，尽量正确按键。探测界面按键消失，trial 与 trial 之间间隔 1000~1200 ms。整个实验共有 6 个 blocks，每个 block 中包含 100 个 trials，共 600 个 trials。每做完一个 block 被试休息 2~5 min，整个实验过程大概持续 1 h。在正式实验结束之后，再次进行长时记忆的测试。测试结果显示，所有被试在工作记忆实验结束后，均能正确回忆项目配对，对配对的正确回忆率达到 98%以上。说明被试在正式实验过程中对前一天长时记忆建立的表征并未遗忘。

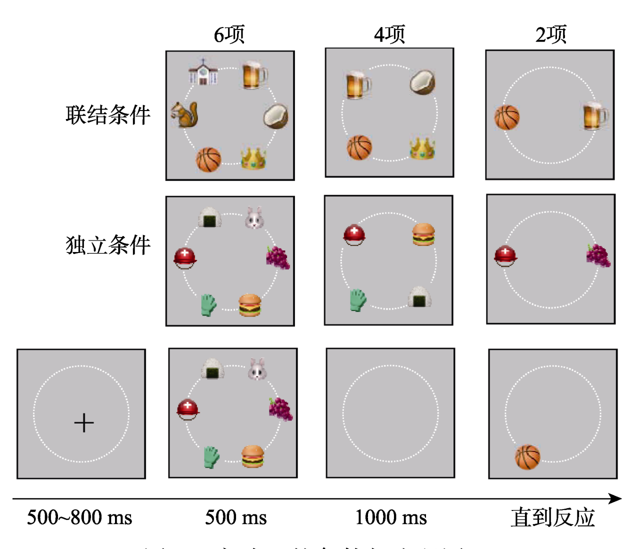


图 3 实验 2 的条件与流程图。

3.1.4 数据分析

(1)行为数据分析

分析方法与实验 1 相同。

(2)脑电数据分析

数据采集仪器为荷兰 Biosemi 公司生产的 Active Two 多道生理信号采集系统。按照 10-20 标准导联系统扩展的 64 导电极帽记录 EEG 数据，以 Cpz 点作为在线参考电极。所有电极点的头皮电阻保持在 10 kΩ 以下，采样频率为 512 Hz，滤波带通为 0.01~100 Hz。

采用 EEGLAB (Delorme & Makeig, 2004)软件包分析脑电数据。将采集到的连续 EEG 数据进行低通频率为 30Hz 的数字滤波，以双耳乳突 M1、M2 作为参考。以记忆阵列呈现前 500 ms 至记忆阵列出现后 1500 ms 的脑电波进行剖分，该分段包含足够长的基线以及我们感兴趣的时间段，EEGLAB 对分段后的数据进行基线校正。其他包含肌电，头动，吞咽伪迹的试次通过手动的方式进一步的识别并去除。其余的水平眼动与眨眼伪迹采用已验证过的独立成分分析(Independent Component Analysis, ICA)方法校正(Jung et al., 2000)。移出那些对眼电有很大贡献，分布在前额叶头皮的独立电极成分(Independent Components, ICs)。最后，每个被试在 2 项联结、2 项独立、4 项联结、4 项独立、6 项联结、6 项独立条件的 trials 数目不少于 70 个。

Alpha 震荡的获取采用时频分析技术。为了获得更高信噪比、更可靠的脑电结果，单试次 EEG 信号(处理数据)与复 Morlet 小波卷积。在 MATLAB 的小波工具箱中使用 cwt.m 函数，在整个时间段内提取瞬时功率。频谱转换后的数据在每个条件的试次下平均，并以分贝的形式标准化(10 × log10 (能量/基线))。计算相对于记忆阵列呈现之前的基线时间段(−400 至−100 ms) alpha 震荡(8~13 Hz)的变化。这样的基线选择能够避免边缘效应，从而保证基线数据的平稳性。根据地形图激活部分与已有相关研究(Fukuda & Woodman, 2017; Kcs, Robison, & Vogel, 2018)选取以下电极：P1/2、P3/4、PO3/4、O1/2、PZ。时间窗为刺激出现后 500~1000 ms 的维持阶段。

采用 SPSS 19.0 软件对 alpha 震荡进行两因素重复测量方差分析(analysis of variance, ANOVA)，分析因素包括呈现方式(联结条件、独立条件)，记忆项目数(2 项、4 项、6 项)。不符合球形假设的 p 值采用 Greenhouse Geisser 法校正，计算偏 Eta 方(eta-squared, η_p^2)作为效果量的量度。

3.2 实验结果

3.2.1 行为结果

见图 4，ANOVA 结果显示，正确率指标上，呈

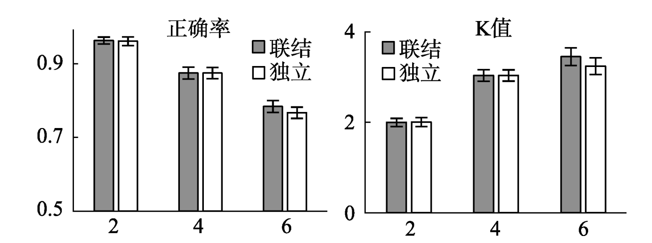


图 4　实验 2 行为结果图。记忆项目数为 2、4、6 项时，联结、独立两种条件下的正确率(左)与记忆项目数为 4、6 时，联结、独立两种条件下的记忆容量 K 值。

现方式主效应不显著, F (1, 24) = 1.440, p = 0.242; 记忆项目数主效应显著, F (2, 48) = 146.823, p < 0.01, η_p^2 = 0.860; 交互作用不显著, F (2, 48) = 1.197, p = 0.311; 事后两两配对检验结果显示记忆 2 项的正确率显著高于 4 项(p < 0.01); 4 项的正确率显著高于 6 项(p < 0.01)。

K 值指标上, 呈现方式主效应不显著, F (1, 24) = 0.996, p = 0.328; 记忆项目数主效应显著, F (2, 48) = 49.149, p < 0.01, η_p^2 = 0.672; 交互作用不显著, F (2, 48) = 2.155, p = 0.144; 事后两两配对检验结果显示记忆 2 项的 K 值显著高于 4 项(p < 0.01); 4 项的 K 值显著高于 6 项(p < 0.05)。

3.2.2　脑电结果

编码阶段脑电结果(0~500 ms): 如图 5, ANOVA 结果显示, alpha power 在呈现方式上主效应不显著, F (1, 24) = 0.317, p = 0.579; 记忆项目数主效应显著, F (2, 48) = 3.190, p < 0.05, η_p^2 = 0.031; 交互作用不显著, F (2, 52) = 2.165, p = 0.126; 事后两两配对检验结果显示记忆 4 项的 alpha power 与 2 项差异不显著(p = 1.00); 6 项的 alpha 震荡与 4 项差异不显著(p = 1.00)。2 项的 alpha 震荡与 6 项差异不显著(p = 0.89)。

维持阶段脑电结果(500~1000 ms): 如图 5,

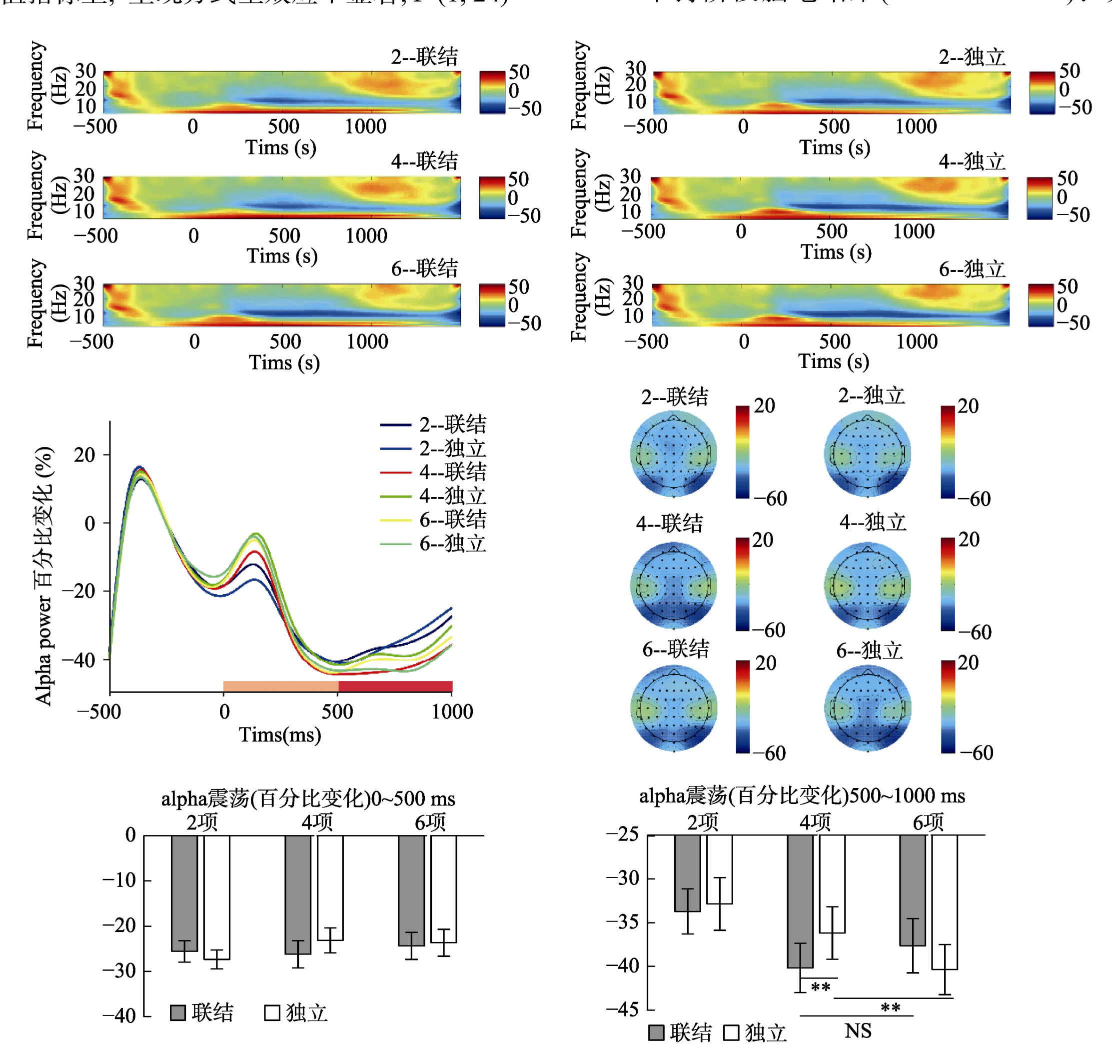


图 5　实验 2 结果。不同实验条件下, 总平均时频谱图(上行)。Alpha 震荡时程图及头皮地形分布图(中行), 编码阶段横坐标用橙色条形标注, 维持阶段横坐标用红色条形标注。记忆项目数为 2、4、6 项时, 联结、独立两种条件在记忆编码阶段(左下)与维持阶段(右下)的 alpha 震荡值。** p < 0.01, NS p > 0.05。

ANOVA 结果显示，alpha power 在呈现方式上主效应不显著，$F(1, 24) = 0.336$, $p = 0.567$；记忆项目数主效应显著，$F(2, 48) = 7.998$, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.250$；交互作用显著，$F(2, 48) = 3.781$, $p < 0.05$, $\eta_p^2 = 0.136$；事后两两配对检验结果显示记忆 2 项的 alpha power 显著小于 4 项($p < 0.05$)；4 项的 alpha 震荡与 6 项无显著差异($p = 1.01$)。简单效应分析发现，独立条件与联结条件的 alpha 震荡在记忆 4 项时，差异显著($p < 0.01$)，记忆 2 项($p = 0.688$)与 6 项($p = 0.221$)无显著差异。

3.3　讨论

实验 2 采用脑电技术，旨在考察长时记忆联结表征对工作记忆实时编码与维持的影响。主要发现以下结果：行为学上并未发现长时记忆联结表征对当前工作记忆任务有影响。脑电结果发现差异。首先，研究表明，alpha 震荡的渐进线可以反映个体工作记忆容量(Fukuda & Woodman, 2017; Kcs, Robison, & Vogel, 2018)。在维持阶段的独立条件下，记忆 2 项的 alpha 震荡显著小于 4 项，4 项显著小于 6 项，alpha 震荡随着记忆项目数量的增多在逐渐提高(Fukuda & Woodman, 2017)，说明实验控制可靠。而联结条件记忆 2 项的 alpha 震荡显著小于 4 项，但 4 项与 6 项差异不显著，这说明联结条件在记忆项目数为 4 项时已经达到记忆容量，但独立条件记忆项目数为 4 项时，尚未达到记忆容量。即，联结条件下个体的记忆容量比独立条件下的更低，可能的原因是，长时记忆联结表征使得当前工作记忆容量降低。

联结条件与独立条件 alpha 震荡的绝对值仅在记忆 4 项时有差异，联结条件要比独立条件的 alpha 震荡更大，说明此刻联结条件需要注意实时维持的表征负荷更高，似乎联结条件下个体需要付出更多资源进行维持。但联结/独立条件在记忆 2 项与 6 项时均没有差异，这可能是由高限与低限效应导致的。2 项相对简单，尚不足以引起 alpha 震荡差异，6 项相对太难，alpha 震荡在独立条件已经达到顶点，导致 alpha 震荡的绝对值没有差异。

另外，实验 2 的行为结果显示在记忆 2、4、6 项时，联结与独立条件差异均不显著，这与实验 1 结果不一致。实验 1 记忆 6 项联结条件的正确率与 K 值均显著小于独立条件，实验 2 记忆 6 项的过程与实验 1 基本相同，但联结与独立条件却没有差异。原因可能在于实验 1 中仅有 6 项出现，并且联结项目的位置是随机的，因此被试在工作记忆任务中并未发现有联结表征的存在(实验结束后询问被试，19 名被试当中仅有一名发现联结表征的存在)。而在实验 2 中，由于 2 项与 4 项的存在，导致被试在工作记忆任务中均察觉到联结表征的存在(实验结束后询问被试，27 名被试全部察觉联结表征)。对联结表征的察觉可能会使被试在决策阶段更多的利用联结特征进行决策。导致联结条件下的记忆正确率升高，显示出与独立条件无差异的结果。

4　总讨论

本研究采用变化觉察范式，考察长时记忆联结表征对个体工作记忆任务的影响。实验 1 采用呈现时间为 1000 ms (编码时间充足)与 500 ms (编码时间不足)的行为实验，结果发现，在两种呈现时间下，联结条件的记忆正确率与工作记忆容量均低于独立条件。说明长时联结表征会抑制工作记忆任务的完成，并与编码时间是否充足无关。实验 2 采用脑电技术进一步考察联结表征在工作记忆编码与维持阶段的作用。结果发现，在工作记忆维持阶段，随着记忆项目数量的增加，联结条件相对于独立条件而言，记忆容量更早到达顶点。这说明联结表征对工作记忆造成的抑制在维持阶段已经发生，两个实验的结果均发现长时记忆的联结表征抑制了当前工作记忆的加工。

关于长时记忆如何影响当下工作记忆任务的完成这一问题，已有一些研究进行了探讨。但前人研究中采用的长时记忆材料大部分是项目表征(Olson & Jiang, 2004; Oberauer et al., 2016)。并未对联结关系进行过探讨。本研究与前人研究的不同之处在于考察的是长时记忆联结表征对工作记忆的影响，对比联结条件(6 个项目 3 对)与独立条件(6 个独立项目)的差异。这样设置的优势在于联结条件与独立条件的单个项目均已建立长时记忆表征，二者的差异仅反应“联结”本身。并且，联结表征的建立过程不涉及位置绑定，可以排除位置绑定的影响。在本研究中，建立长时记忆联结表征的方式采用图片对的联结记忆。早期针对联结记忆(associative memory，词对，图片对，面孔−姓名)的研究发现，联结记忆比单独的项目记忆难度更高(Old & Naveh-Benjamin, 2008)。在本研究中，联结条件比独立条件的工作记忆容量降低，虽然任务不需要个体回忆联结关系，但依然存在联结关系被自动激活，占用注意资源，使得联结条件下记忆成绩降低可能性。

长时记忆联结表征会影响当下工作记忆任务具有相当的可能性。多数研究者认为长时记忆与工作记忆有一定的联系(Brown, Neath, & Chater, 2007), 而工作记忆相对长时记忆而言也具有特殊性(Jeneson & Squire, 2012)。Cowan (1988, 1999, 2001)在其工作记忆的嵌套模型中, 认为注意焦点容量约为 4, 该容量即为工作记忆在简单任务下的存储能力。随后, Oberauer (2002), Oberauer 和 Lin (2017)对长时记忆与工作记忆的关系做了更进一步的推论, 提出三嵌套模型。该模型认为, 个体的记忆系统分为三个部分, 注意焦点、直接存取区(工作记忆)、长时记忆激活部分。长时记忆是一个庞大的信息表征网络, 其中只有某些与当下认知活动相关的项目处于激活状态。这些处于激活状态项目的一部分表征处于直接存取区中。而在直接存取区中, 注意焦点选择一个项目进行加工。在本研究中, 联结条件与独立条件的表征均来自长时记忆表征, 但联结条件下工作记忆能力却受到抑制。根据三嵌套模型的观点, 工作记忆维持阶段也同样需要注意资源的参与, 很可能注意资源在联结/独立条件下, 对表征的选择存在差异。独立条件下, 注意资源对 6 个项目按照尽量均衡的原则分配, 但联结条件下, 联结关系的存在干扰了注意资源的分配过程, 使注意无法均匀分配, 或者是无法按照独立条件下的分配方式顺利完成, 导致记忆维持阶段需要更多的资源参与。因此, 行为结果表现为联结条件下正确率与容量下降, 脑电结果表现为 alpha 震荡增加。未来研究可以从标定具体项目的角度考察, 来观察联结与独立条件下维持阶段的资源分配问题。

长时记忆联结表征的存储机制本身也存在争议, 有研究认为, 联结记忆的表征在长时记忆过程中会发生整合, 整合的发生以损害单个项目记忆为代价, 因为被试将更多的资源投放到联结编码中, 而减少了对单个项目编码的资源, 导致项目记忆质量下降(Ahmad & Hockley, 2014)。如果该假设成立, 那么本研究中, 联结表征对工作记忆造成损失的原因可能来自单个项目记忆质量的下降。但也有研究认为, 整合在促进联结再认时不影响项目再认, 因为联结编码是在项目编码的基础上完成(Parks & Yonelinas, 2015)。因此, 对联结表征内部机制的研究也有助于继续探索联结表征对工作记忆的影响。

综上, 长时记忆联结表征抑制当前工作记忆任务的加工, 降低工作记忆容量, 即使编码时间充足, 这种抑制作用依然存在。在工作记忆维持阶段, 抑制产生的机制来自于联结表征增加了当前工作记忆的维持负荷, 而联结表征增加工作记忆负荷量的原因可能来自注意分配的紊乱。

参　考　文　献

Ahmad, F. N., & Hockley, W. E. (2014). The role of familiarity in associative recognition of unitized compound word pairs. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 67*(12), 2301−2324.

Bao, X. H., Ji, M., Huang, J., He, L. G., & You, X. Q. (2014). The Effects of activation levels of visual long-term memory on visual short-term memory. *Acta Psychologica Sinica*, *46*(8), 1086−1093.

[鲍旭辉, 姬鸣, 黄杰, 何立国, 游旭群. (2014). 视觉长时记忆激活度对促进视觉短时记忆的影响. *心理学报*, *46*(8), 1086−1093.]

Bastin, C., Diana, R. A., Simon, J., Collette, F., Yonelinas, A. P., & Salmon, E. (2013). Associative memory in aging: The effect of unitization on source memory. *Psychology & Aging*, *28*(1), 275−283.

Brady, T. F., Konkle, T., & Alvarez, G. A. (2011). A review of visual memory capacity: Beyond individual items and toward structured representations. *Journal of Vision*, *11*(5), 4−4.

Brady, T. F., Konkle, T., Gill, J., Oliva, A., & Alvarez, G. A. (2013). Visual long-term memory has the same limit on fidelity as visual working memory. *Psychological Science*, *24*(6), 981−990.

Brown, G. D. A., Neath, I., & Chater, N. (2007). A temporal ratio model of memory. *Psychological Review*, *114*(3), 539−576.

Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin*, *104*(2), 163−191.

Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory. Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62−101). Cambridge, England: Cambridge University Press.

Cowan, & Nelson. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences, 24*(1), 87−185.

Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, *134*(1), 9−21.

Eichenbaum, H. (2016). Memory: Organization and control. *Annual Review of Psychology*, *68*(1), 19−45.

Ezzyat, Y., & Davachi, L. (2014). Similarity breeds proximity: Pattern similarity within and across contexts is related to later mnemonic judgments of temporal proximity. *Neuron*, *81*(5), 1179–1189.

Feldmann-Wüstefeld, T., Vogel, E. K., & Awh, E. (2018). Contralateral delay activity indexes working memory storage, not the current focus of spatial attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *30*(8), 1185−1196.

Fukuda, K., & Woodman, G. F. (2017). Visual working memory buffers information retrieved from visual long-term memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114*(20), 5306−5311.

Guillaume, F., & Etienne, Y. (2015). Target-context unitization

effect on the familiarity-related FN400: A face recognition exclusion task. *International Journal of Psychophysiology*, *95*(3), 345−354.
Hasson, U., & Chen, J., Honey, C. J. (2015). Hierarchical process memory: Memory as an integral component of information processing. *Trends in Cognitive Sciences, 19*(6):304−313.
Jeneson, A., & Squire, L. R. (2012). Working memory, long-term memory, and medial temporal lobe function. *Learning & Memory*, *19*(1), 15−25.
Jung, T.s-P., Makeig, S., Humphries, C., Lee, T.-W., Mckeown, M. J., Iragui, V., & Sejnowski, T. J. (2000). Removing electroencephalographic artifacts by blind source separation. *Psychophysiology*, *37*(2), 163−178.
Kcs, A., Robison, M. K., & Vogel, E. K.. (2018). Contralateral delay activity tracks fluctuations in working memory performance. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *30*(9), 1229−1240.
Liu, Z. X., Grady, C., & Moscovitch, M.. (2016). Effects of prior-knowledge on brain activation and connectivity during associative memory encoding. *Cerebral Cortex*, *27*(3), 1991−2009.
Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature, 390*(6657), 279−281.
Oberauer, K. (2002). Access to information in working memory: Exploring the focus of attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *28*(3), 411−421
Oberauer, K., Awh, E., & Sutterer, D. W. (2016). The role of long-term memory in a test of visual working memory: Proactive facilitation but no proactive interference. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *43*(1), 1−22.
Oberauer, K., & Lin, H. Y. (2017). An interference model of visual working memory. *Psychological Review*, *124*(1), 21−59.
Old, S. R., & Naveh-Benjamin, M. (2008). Differential effects of age on item and associative measures of memory: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, *23*(1), 104−118.
Olson, I. R., & Jiang, Y. H. (2004). Visual short-term memory is not improved by training. *Memory & Cognition*, *32*(8), 1326−1332.
Parks, C. M., & Yonelinas, A. P. (2015). The importance of unitization for familiarity-based learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *41*(3), 881−903.
Sauvage, M. M., Beer, Z., & Eichenbaum, H. (2010). Recognition memory: Adding a response deadline eliminates recollection but spares familiarity. *Learning & Memory*, *17*(2), 104−108.
Schurgin, M. W., & Flombaum, J. I. (2015). Visual long-term memory has weaker fidelity than working memory. *Visual Cognition*, *23*(7), 859−862.
Thavabalasingam, S., O'Neil, E. B., Tay, J., Nestor, A., & Lee, A. C. H. (2019). Evidence for the incorporation of temporal duration information in human hippocampal long-term memory sequence representations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *116*(13), 6407−6414.
Wang, J. X., Rogers, L. M., Gross, E. Z., Ryals, A. J., Dokucu, M. E., & Brandstatt, K. L. … Voss, J. L. (2014). Targeted enhancement of cortical-hippocampal brain networks and associative memory. *Science*, *345*(6200), 1054−1057.
Xie, W, & Zhang, W. (2017). Familiarity speeds up visual short-term memory consolidation: Electrophysiological evidence from contralateral delay activities. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *30*(1), 1−13.
Yonelinas, A. P., Aly, M., Wang, W.-C., & Koen, J. D. (2010). Recollection and familiarity: Examining controversial assumptions and new directions. *Hippocampus*, *20*(11), 1178−1194.
Zalesak, M, & Heckers, S. (2009). The role of the hippocampus in transitive inference. *Psychiatry Research: Neuroimaging, 172*(1), 24−30.
Zeithamova, D., Dominick, A. L., & Preston, A. R. (2012). Hippocampal and ventral medial prefrontal activation during retrieval-mediated learning supports novel inference. *Neuron, 75*(1), 168−79.

The inhibitory effect of long-term associative representation on working memory

ZHANG Yin[1,2]; LIANG Tengfei[1,2]; YE Chaoxiong[1,3]; LIU Qiang[1,2]

([1] *Institute of Brain and Psychological Sciences, Sichuan Normal University, Chengdu* 610000, *China*)

([2] *Research Center of Brain and Cognitive Neuroscience, Liaoning Normal University, Dalian* 116029, *China*)

([3] *Department of Psychology, University of Jyvaskyla, Jyvaskyla*, 40014, *Finland*)

Abstract

Studies on how long-term memory affects working memory (WM) have found that long-term memory can enhance WM processing. However, these studies only use item memory as the representation of long-term memory. In addition to item memory, associative memory is also an essential part of long-term memory. The associative memory and item memory involve different cognitive mechanisms and brain areas. The purpose of the present study was to investigate how associative memory affects WM processing.

Before the WM task, participants were asked to store 16 pairs of dissimilar pictures into long-term memory. The participants would obtain the associative memory of these pairs of pictures in the long-term memory. The WM task was a change detection paradigm. Memory pictures in the memory array appeared in pairs (associative

condition) or out of pairs (independent condition). In Experiment 1, the memory array with 6 items (3 pairs) was presented for 500 ms or 1000 ms. After a 1000 ms interval, participants needed to determine whether the probe item was the same as the memory array. The design and procedure of Experiment 2 were similar to those of Experiment 1, except that memory array was presented for only 500 ms, and 2 items (1 pairs) and 4 terms (2 pairs) were added in set size condition. Alpha power of electroencephalogram (EEG) was also collected and analyzed in Experiment 2.

The results in Experiment 1 showed that WM capacity and accuracy were significantly lower in the associative condition than in the independent condition (for both presentation-time conditions: 500ms and 1000ms). The results in Experiment 2 showed that the alpha power in the independent condition increased as the memory set size increased (2 items < 4 items < 6 items), while the alpha power in the associative condition reached the asymptote when the set size was 4 (2 items < 4 items = 6 items). Both of these two experiments' results showed that WM capacity in the associative condition was lower than that in the independent condition.

In conclusion, long-term associative representations inhibit the current WM processing and decrease WM capacity. This inhibitory effect is not affected by the length of encoding time. It implies that the reason for the increase of WM load by associative memory may come from the disorder of attention distribution.

Key words long-term memory; working memory; associative memory; alpha power